Temat nr 1 :

Przewodzenie ciepła

Temat nr 2,3 :

Zasady eksploatacji i obsługi maszyn i urządzeń energetycznych

Temat nr 4:

Podstawy diagnostyki maszyn i urządzeń energetycznych

mgr inż. Alina Jeszke-Tymkowska
mail a.tymkowska@gmail.com

Literatura

1) Hermann Recknagel, Eberhard Sprenger , Ernst Schramek : „Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda,

2) Ryszard Tytko: „Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej”,

3) Albers Joachim „Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji. Poradnik dla projektantów i instalatorów”,

4) Halina Koczyk: „Ogrzewnictwo praktyczne”,

5) www.viessmann.pl,

6) Rozporządzenia dotyczące urządzeń energetycznych.

Temat nr 1 :

Przewodzenie ciepła

Ciepło jest to forma energii przekazywana między dwoma układami (lub układem i otoczeniem) w wyniku różnicy temperatur.

Wymiana ciepła występuje wyłącznie wtedy gdy mamy do czynienia z różnicą temperatur.

Ciepło przechodzi od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej przez:

- **przewodzenie**
- **promieniowanie**
- **konwekcję**

Przewodzenie ciepła

Bezpośrednie przekazywanie energii wewnętrznej drobinom o niższej temperaturze przez stykające się z nimi drobiny tego samego lub innego ciała posiadające wyższą temperaturę.

Promieniowanie

Wzajemne przekazywanie sobie energii przez drobiny materii o różnych temperaturach niestykających się ze sobą (np. słońce za pomocą fal emituje ciepło).

Konwekcja

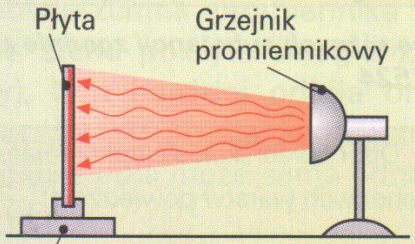
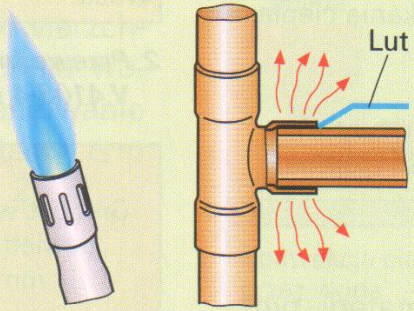
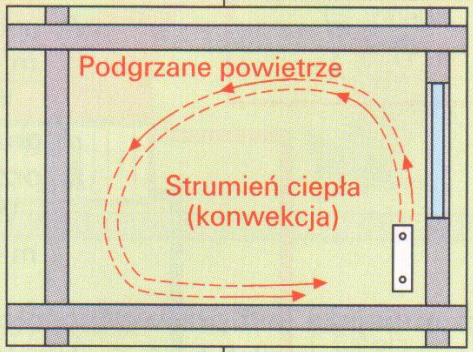
Przewodzenie ciepła, któremu towarzyszy wzajemne przemieszczanie płynu, cieczy, gazu (gdy gotujemy wodę, najpierw podgrzewają się cząstki będące na dole i przechodząc do góry będą oddawały ciepło cząstkom po drodze).

Przewodzenie ciepła jest sposobem przekazywania energii, który zachodzi w nierównomiernie nagrzanym ośrodku materialnym, lub przy bezpośrednim zetknięciu się dwu lub więcej ośrodków o różnych temperaturach.

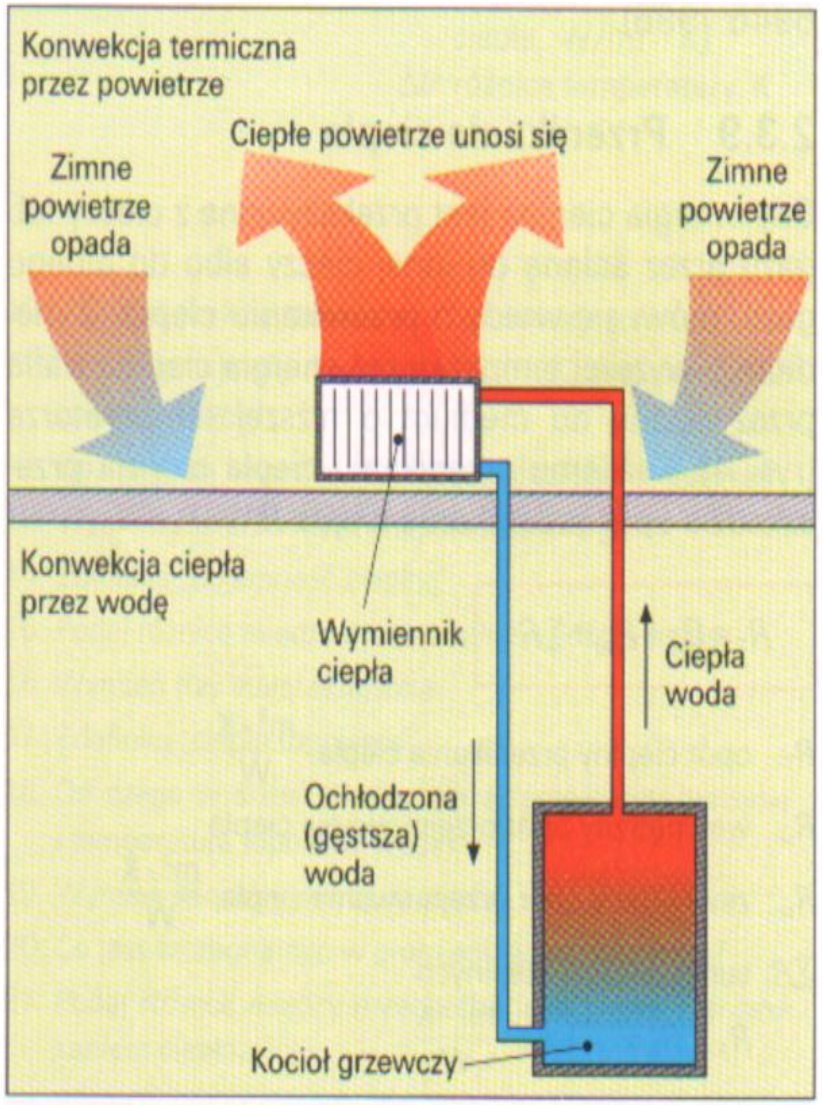
Przewodzenie ciepła w czystej postaci jest charakterystyczne dla ciał stałych. Natomiast w cieczach i gazach przewodzeniu ciepła towarzyszą zwykle inne sposoby wymiany ciepła (konwekcja i promieniowanie).

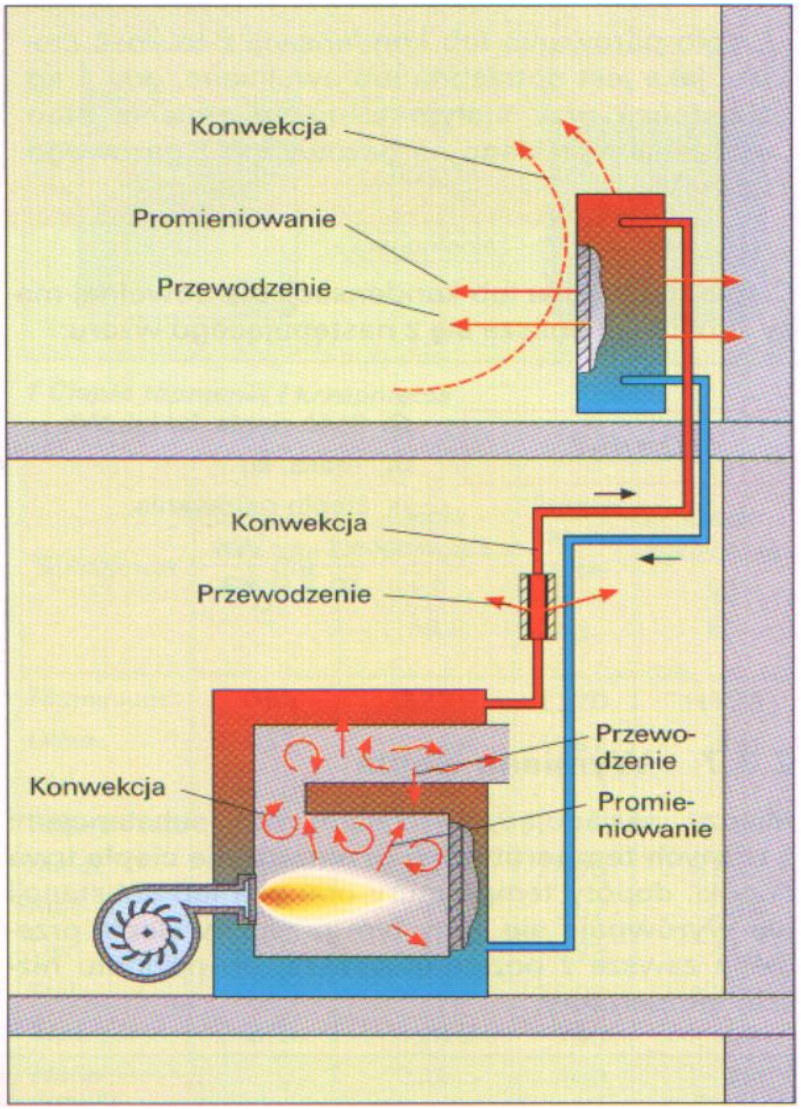
Formy wymiany ciepła

Wymiana ciepła przez

promieniowanie np. słońce, grzejnik płytowy, płomień palnika, grzejnik promiennikowy	**przewodzenie** np. ściana domu, ściana kotła, lut	**unoszenie ciepła / konwekcję** np. gorące gazy spalinowe, powietrze pokojowe, woda grzewcza
		
Rozprzestrzenianie się ciepła przez fale elektromagnetyczne	Rozprzestrzenianie się ciepła wewnątrz materiału od cząsteczki materii do cząsteczki materii	Rozprzestrzenianie się ciepła przez unoszenie z pomocą innych substancji
Przenoszenie ciepła nie jest powiązane z materiałem	Cząsteczki materii pozostają na swoim miejscu, dlatego przenoszenie ciepła jest możliwe również w ciałach stałych	Przenoszenie ciepła przez wędrujące cząsteczki materii

Źródło [3]


Konwekcja termiczna
przez powietrze
Ciepłe powietrze unosi się
Zimne
powietrze
opada
Zimne
powietrze
opada
Konwekcja ciepła
przez wodę
Wymiennik
ciepła
Ciepła
woda
Ochłodzona
(gęstsza)
woda
Kocioł grzewczy


Konwekcja
Promieniowanie
Przewodzenie
Konwekcja
Przewodzenie
Konwekcja
Przewo-
dzenie
Promie-
niowanie

Źródło [3]

Odmianą przewodzenia jest

WNIKANIE

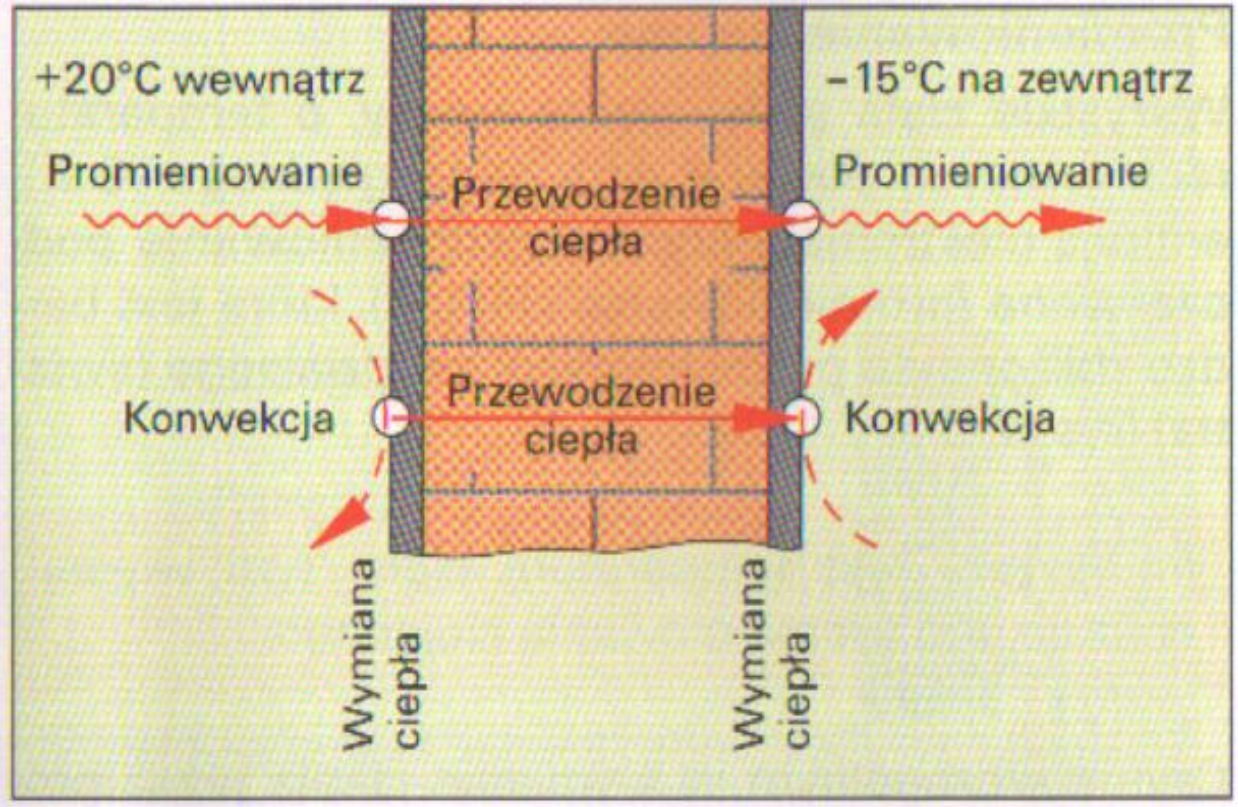
przewodzenie ciepła w ciałach stałych, kontaktujących się na swojej powierzchni z płynem.

Wymiana ciepła pomiędzy płynem a powierzchnią stykającego się z nim ciała stałego polega na dwóch zjawiskach:

- promieniowaniu,
- konwekcji.

Połączone działanie tych dwóch zjawisk nazywamy
PRZEJMOWANIEM CIEPŁA

Wymiana ciepła w przegrodzie



Źródło [3]

Współczynnik przewodzenia ciepła λ

wyznacza się doświadczalnie, zależy on od gęstości, temperatury i wilgotności rozpatrywanego materiału PN EN ISO 6946.

Współczynnik przewodzenia ciepła λ

charakteryzuje łatwość przewodzenia ciepła przez dany materiał. Dobrymi przewodnikami ciepła nazywamy materiały, dla których wartość współczynnika przewodzenia ciepła jest duża, natomiast materiały będące izolatorami cieplnymi charakteryzują się małymi wartościami λ

Jednostką współczynnika przewodzenia ciepła jest Wat na metr Kelwin (**W/mK**). Wyraża ona wielkość przepływu ciepła przez jednostkową powierzchnię z materiału o danej grubości, jeśli różnica temperatur między dwiema jego stronami wynosi 1 Kelwin.

/pisz pierwsze litery nazwy szukanego materiału:

		d [m]	ρ [kg/m^3]	λ [W/(m·K)]	Cp [J/(kg·K)]	μ [–]
Beton (PN-EN 12524)						
Beton o średniej gęstości 1800 (PN-EN 12524)	---		1800	1,150	1000	60,000
Beton o średniej gęstości 2000 (PN-EN 12524)	---		2000	1,350	1000	60,000
Beton o średniej gęstości 2200 (PN-EN 12524)	---		2200	1,650	1000	70,000
Beton o wysokiej gęstości 2400 (PN-EN 12524)	---		2400	2,000	1000	80,000
Beton zbrojony z 1% stali (PN-EN 12524)	---		2300	2,300	1000	80,000
Beton zbrojony z 2% stali (PN-EN 12524)	---		2400	2,500	1000	80,000
Beton i przegrody z betonu (PN EN 6946)						
Beton (1000)	---		1000	0,390	840	60,000
Beton (1100)	---		1100	0,460	840	60,000
Beton (1200)	---		1200	0,540	840	65,000
Beton (1300)	---		1300	0,620	840	65,000
Beton (1400)	---		1400	0,720	840	70,000
Beton (1600)	---		1600	0,900	840	70,000
Beton (krusz. wap.) (1400)	---		1400	0,600	840	120,000
Beton (krusz. wap.) (1200)	---		1200	0,500	840	120,000
Beton (krusz. wap.) (1600)	---		1600	0,720	840	120,000
Beton (żużel pal.) (1200)	---		1200	0,500	840	6,000
Beton (żużel pal.) (1600)	---		1600	0,720	840	6,000
Beton (żużel pal.) (1800)	---		1800	0,850	840	6,000
Beton (żużel pal.) (1400)	---		1400	0,600	840	6,000
Beton (żużel pum.) (1000)	---		1200	0,330	840	40,000
Beton (żużel pum.) (1200)	---		1200	0,400	840	40,000
Beton (żużel pum.) (1400)	---		1400	0,500	840	40,000
Beton (żużel pum.) (1600)	---		1600	0,580	840	40,000
Beton (żużel pum.) (1800)	---		1800	0,700	840	40,000
Beton jamisty	---		1900	1,000	840	70,000
Beton zwykły (1900)	---		1900	1,000	840	70,000
Beton zwykły (2200)	---		2200	1,300	840	70,000
Beton zwykły (2400)	---		2400	1,700	840	70,000

Wpisz pierwsze litery nazwy szukanego materiału:

	d [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]	Cp [J/(kg·K)]	μ [–]
Beton (PN-EN 12524)					
Beton i przegrody z betonu (PN EN 6946)					
Bitum (PN-EN 12524)					
Drewno i materiały drewnopochodne (PN EN 6946)					
Dąb (p.w.)	---	800	0,220	2510	10,930
Dąb (w.w.)	---	800	0,400	2510	2,040
Płyty	---	300	0,060	2510	3,399
Płyty	---	1000	0,180	2510	30,590
Sklejka	---	600	0,160	2510	30,590
Sosna i świerk (p.w.)	---	550	0,160	2510	10,200
Sosna i świerk (w.w.)	---	550	0,300	2510	1,912
Gazy (PN-EN 12524)					
Gips - wyroby zabezpieczone przed zawilgoceniem (PN EN 69...					
Gazogips	---	500	0,190	840	1,632
Gipsobeton (1200)	---	1200	0,450	840	4,079
Gipsobeton (1300)	---	1300	0,520	840	4,532
Jastrych gips. (1300)	---	1300	0,520	840	5,463
Jastrych gips. (1800)	---	1800	1,000	840	6,000
Jastrych gips. (1900)	---	1900	1,200	840	8,000
Płyty	---	1000	0,230	1000	8,094
Płyty (1000)	---	1000	0,350	840	5,827
Płyty (900)	---	900	0,300	840	5,562
Gips (PN-EN 12524)					
Gips - płyta gipsowo-kartonowa (PN-EN 12524)	---	900	0,250	1000	4,000
Gips 1200 (PN-EN 12524)	---	1200	0,430	1000	4,000
Gips 1500 (PN-EN 12524)	---	1500	0,560	1000	4,000
Gips 600 (PN-EN 12524)	---	600	0,180	1000	4,000
Gips 900 (PN-EN 12524)	---	900	0,300	1000	4,000

Wpisz pierwsze litery nazwy szukanego materiału:	d [m]	ρ [kg/m^3]	λ [W/(m·K)]	Cp [J/(kg·K)]	μ [–]
Izolacja - materiały termoizolacyjne (PN EN 6946)					
Filce, płyty (100)	---	100	0,042	750	1,275
Filce, płyty (160)	---	160	0,042	750	1,275
Filce, płyty (40)	---	40	0,045	750	1,275
Filce, płyty (80)	---	80	0,045	750	1,275
Maty z wł. szk. (100)	---	100	0,045	840	1,012
Maty z wł. szk. (60)	---	60	0,045	840	1,012
Pianka poliur. (30)	---	30	0,025	1460	1,062
Pianka poliur. (30)	---	30	0,035	1460	1,062
Pianka poliur. (50)	---	50	0,025	1460	1,062
Pianka poliur. (50)	---	50	0,035	1460	1,062
Płyty (słoma)	---	300	0,080	1460	1,275
Płyty (trzcina)	---	250	0,070	1460	1,275
Płyty kork. asf.	---	250	0,070	1380	10,200
Płyty korkowe	---	150	0,045	2060	8,158
Płyty paźdź. (300)	---	300	0,075	1460	5,562
Płyty paźdź. (700)	---	700	0,130	1460	18,000
Płyty paźdź.(500)	---	500	0,100	1460	10,120
Płyty wiórk.-cem. (450)	---	450	0,140	2090	1,632
Płyty wiórk.-cem. (600)	---	600	0,150	2090	2,040
Płyty wiórowe (300)	---	300	0,070	2090	4,079
Płyty wiórowe (700)	---	700	0,130	2090	18,000
Styropian (15)	---	15	0,042	1460	50,990
Styropian (40)	---	40	0,042	1460	50,990
Szkło piankowe (180)	---	180	0,070	840	40,790
Szkło piankowe (300)	---	300	0,120	840	27,810
Wełna min. (40)	---	40	0,050	750	1,275

/pisz pierwsze litery nazwy szukanego materiału:

	d [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]	Cp [J/(kg·K)]	μ [–]
Metale (PN-EN 12524)					
Mur z cegły (na zaprawie cementowo-wapiennej, przy gruboś...					
Mur (dziurawka)	---	1400	0,620	880	4,532
Mur (klinkier)	---	1900	1,050	880	3,999
Mur (kratówka)	---	1300	0,560	880	4,079
Mur (silikaty dr.)	---	1600	0,800	880	4,473
Mur (silikaty)	---	1900	1,000	880	5,827
Mur z cegły cer.	---	1800	0,770	880	5,827
Płytki (PN-EN 12524)					
Płytki (dachówki) - cementowe (PN-EN 12524)	---	2100	1,500	1000	60,000
Płytki (dachówki) - ceramiczne (PN-EN 12524)	---	2000	1,000	800	30,000
Płytki (inne) - ceramika / porcelana (PN-EN 12524)	---	2300	1,300	840	+oo
Płytki (inne) - tworzywa sztuczne (PN-EN 12524)	---	1000	0,200	1000	10000,000
Płyty drewnopochodne (PN-EN 12524)					
Płyta cementowo-wiórowa na spoiwie cementowym (PN-...	---	1200	0,230	1500	30,000
Płyta o wiórach orientowanych (PN-EN 12524)	---	650	0,130	1700	30,000
Płyta pilśniowa, w tym MDF 250 (PN-EN 12524)	---	250	0,070	1700	2,000
Płyta pilśniowa, w tym MDF 400 (PN-EN 12524)	---	400	0,100	1700	5,000
Płyta pilśniowa, w tym MDF 600 (PN-EN 12524)	---	600	0,140	1700	12,000
Płyta pilśniowa, w tym MDF 800 (PN-EN 12524)	---	800	0,180	1700	20,000
Płyta wiórowa 300 (PN-EN 12524)	---	300	0,100	1700	10,000
Płyta wiórowa 600 (PN-EN 12524)	---	600	0,140	1700	15,000
Płyta wiórowa 900 (PN-EN 12524)	---	900	0,180	1700	20,000
Sklejka 1000 (PN-EN 12524)	---	1000	0,240	1600	110,000
Sklejka 300 (PN-EN 12524)	---	300	0,090	1600	50,000
Sklejka 500 (PN-EN 12524)	---	500	0,130	1600	70,000
Sklejka 700 (PN-EN 12524)	---	700	0,170	1600	90,000

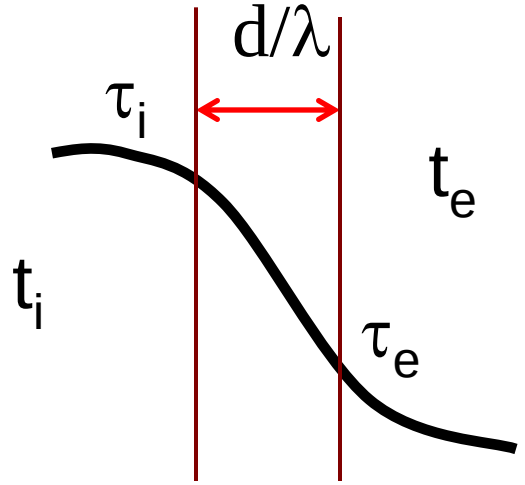
Wpisz pierwsze litery nazwy szukanego materiału:

	d [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·K)]	Cp [J/(kg·K)]	μ [–]
Tworzywa sztuczne, stałe (PN-EN 12524)					
Tynki (PN EN 6946)					
Tynk wapienny	---	1700	0,700	840	8,158
Tynk, gładź cem.	---	2000	1,000	840	13,600
Tynk, gładź cem.-wap.	---	1850	0,820	840	13,600
Tynki i zaprawy tynkarskie (PN-EN 12524)					
Tynk cementowo-piaskowy (PN-EN 12524)	---	1800	1,000	1000	6,000
Tynk gipsowo-piaskowy (PN-EN 12524)	---	1600	0,800	1000	6,000
Tynk gipsowy 1000 (PN-EN 12524)	---	1000	0,400	1000	6,000
Tynk gipsowy 1300 (PN-EN 12524)	---	1300	0,570	1000	6,000
Tynk gipsowy izolacyjny (PN-EN 12524)	---	600	0,180	1000	6,000
Tynk wapienno-piaskowy (PN-EN 12524)	---	1600	0,800	1000	6,000
Woda (PN-EN 12524)					
Wybrane materiały różne (PN EN 6946)					
Cynk	---	7100	110,000	390	+oo
Filc	---	300	0,060	1670	0,944
Glina (1800)	---	1800	0,700	840	50,000
Grunt	---	1800	0,900	1260	0,944
Guma	---	1200	0,200	1260	199,959
Ił	---	1800	0,750	840	50,000
Miedź	---	8800	370,000	380	+oo
Papa (asfaltowa)	---	1000	0,180	1460	0,944
Papier	---	1000	0,250	1460	0,850
Piasek	---	1650	0,400	840	50,000
Piasek pylasty	---	1800	0,550	840	50,000
Płyty okładz.	---	2000	1,050	920	4,856
Stal	---	7800	58,000	440	+oo

JEDNOSTKOWY STRUMIEŃ CIEPŁA

Jeżeli dwa płyny cieplejszy o temp. t_i i chłodniejszy o temp. t_e rozdzielone są przegrodą określonego kształtu to gęstość strumienia ciepła przepływającego przez przegrodę wyraża równanie PECLETA

$$q = U (\tau_i - \tau_e) \quad [W/m^2]$$



Całkowity strumień ciepła

$$Q = q * A \ [W]$$

q- jednostkowy strumień powietrza [W/m^2]
A- powierzchnia przegrody [m^2]

Ilość ciepła napływającego na powierzchnię i odpływającego z przegrody po stronie zewnętrznej są sobie równe.

$Q_1 = h_i * A (t_i - \tau_i)$ wnikanie
$Q_h = \lambda/d*A (\tau_i - \tau_e)$ przewodzenie
$Q_2 = h_e * A (\tau_e - t_e)$ wnikanie

$$Q = U * A * (ti - te) \ [W]$$

U - współczynnik przenikania ciepła określa ile energii przenika przez metr kwadratowy przegrody w czasie jednej sekundy gdy różnica między temperaturą na zewnątrz i wewnątrz wynosi 1 Kelwin.

$$U = \frac{1}{1/h_i + d/\lambda + 1/h_e} \quad [W/m^2K]$$

$1/h_i = R_{si}$ – opór termiczny wewnętrznej powierzchni przegrody podczas napływu ciepła [m2K/W]

$1/h_e = R_{se}$ - opór termiczny powierzchni zewnętrznej przegrody podczas odpływu ciepła [m2K/W]

d = grubość przegrody [m]

Opór cieplny (R)

wskazuje niezbędną różnicę temperatur, aby 1m^2 wewnętrznej powierzchni przegrody przyjął w jednostce czasu ilość ciepła równą 1 Wat.

$$R = d/\lambda \quad [(m^2K)/W]$$

Opór cieplny ściany wielowarstwowej

$$\Sigma R = R_{si} + R_i + R_{se}$$

R_{si} wewnętrzny opór przejmowania ciepła zależy od kierunku przepływu ciepła

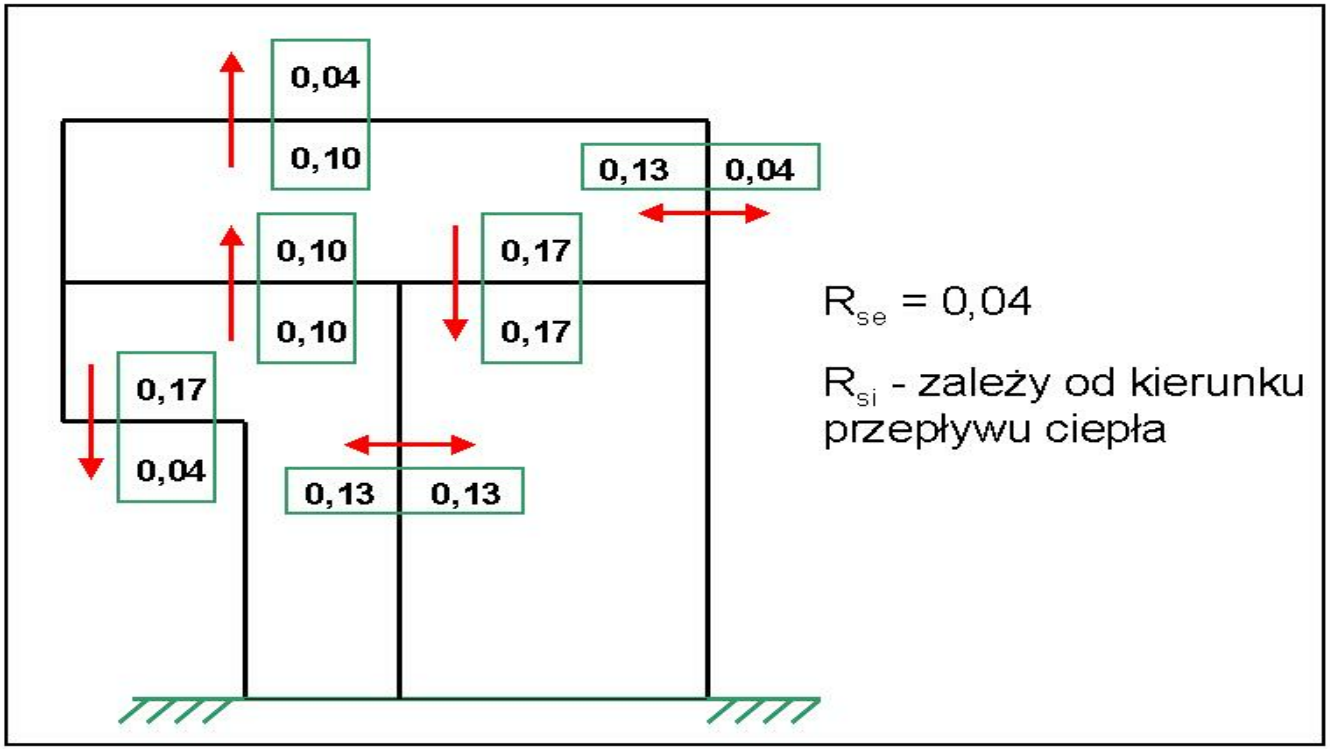
R_{se} zewnętrzny opór przejmowania ciepła

Współczynnik przenikania ciepła

$$\mathbf{1/\Sigma R = U\ [W/m^2 * K]}$$

Opór cieplny obliczamy z dokładnością do trzech miejsc po przecinku.

Wartości współczynników odpływu i napływu ciepła



opór przejmowania ciepła	kierunek przejmowania ciepła		
	w górę	poziomy	w dół
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Zasady wyznaczania wartości współczynnika przenikania ciepła **przegród budowlanych** podano w normie PN-EN ISO 6946:2008.

Zamieszczono w niej metodologię wyznaczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła przegród o jednorodnym i niejednorodnym układzie konstrukcyjnym oraz skorygowanej wartości współczynnika przenikania ciepła, czyli parametru U_C .

W ścianach zewnętrznych można najczęściej zaobserwować następujące typy liniowych mostków ciepła:
• na połączeniu ściany ze stropodachem,
• na połączeniu stropu ze ścianą zewnętrzną z mostkami geometrycznymi na krawędziach ścian zewnętrznych,
• na otworach okiennych lub drzwiowych,
• na połączeniu balkonów ze ścianą zewnętrzną.

Dodatkowo mogą wystąpić mostki punktowe wynikające z zastosowania łączników mechanicznych lub słupów konstrukcyjnych w ścianach.

W obliczaniu skorygowanej wartości współczynnika przenikania ciepła U_C należy stosować poprawki uwzględniające:

- pustki powietrzne, a właściwie nieszczelności w warstwie izolacji cieplnej, oznaczone symbolem ΔU_g,

- łączniki mechaniczne (metalowe) przebijające warstwę izolacji cieplnej, oznaczone symbolem ΔU_f,

- nieszczelności w warstwie izolacji cieplnej dachów o odwróconym układzie warstw, oznaczone symbolem ΔU_r.

Według normy PN-EN ISO 6946:2008 wpływ łączników mechanicznych w skorygowanej wartości współczynnika przenikania ciepła U_C można uwzględnić poprawką ΔU_f według jednej z dwóch zależności. Pierwsza (szczegółowa) jest podana w wytycznych ETAG 004:2008 – zaleca się w niej stosowanie współczynnika przenikania ciepła punktowego mostka cieplnego χ, który musi być określony dokładnie na podstawie obliczeń według metodologii z normy PN-EN ISO 10211:2008.

$$\mathbf{U_C = U + \Delta U,}$$

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_R$$

U_C - skorygowana wartość współczynnika przenikania ciepła [W/(m²·K)],

Poprawka do współczynnika przenikania ciepła uwzględniająca wpływ mostków cieplnych punktowych (od łączników z trzpieniami metalowymi) i mostków cieplnych liniowych (listew, profili metalowych), obliczana wzorem:

$$\Delta Uf = \chi_p \cdot n + \psi_i \cdot l_i,$$

χ_p współczynnik przenikania ciepła punktowego mostka cieplnego od łącznika mechanicznego [W/K] – do obliczeń proponuje się przyjmować następujące wartości: –
- 0,002 [W/K] – w odniesieniu do łączników ze stali nierdzewnej z główką z tworzywa i łączników ze szczeliną powietrzną przy główce,
- 0,004 [W/K] – w odniesieniu do łączników ze stali galwanizowanej z główką pokrytą tworzywem,
- 0,008 [W/K] – w odniesieniu do pozostałych łączników metalowych,

n - liczba łączników mechanicznych przypadających na 1 m² przegrody,

ψ_i - współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego od listew, profili [W/(m·K)],

l_i - długość liniowego mostka cieplnego (listew, profili) przypadającego na 1 m² przegrody [m].

Według drugiej (przybliżonej) poprawka może być stosowana wówczas, gdy łączniki nie są uwzględnione innymi metodami.
W normie PN-EN ISO 6946:2008 podano, że poprawkę należy stosować w odniesieniu do kotew ściennych w murach wielowarstwowych, łączników dachowych lub łączników w złożonych systemach paneli.

Poprawki nie należy wprowadzać w następujących przypadkach:

– kotwie ścienne przechodzą przez pustą szczelinę,
– kotwie ścienne między warstwą muru i drewnianymi słupkami,
– gdy współczynnik przewodzenia ciepła łącznika, lub jego części, jest mniejszy niż 1 W/(m·K).

Wynika z tego, że nie trzeba jej uwzględniać wówczas, gdy łączniki wykonane są z tworzywa sztucznego, należy natomiast – kiedy łączniki wykonane są z metalu.

Poprawkę ΔU_f (określoną w sposób przybliżony) oblicza się według wzoru:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_0} \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

jeżeli łącznik całkowicie przebija warstwę izolacji;
$\alpha = 0{,}8$ lub $\alpha = 0{,}8 \cdot d_1/d_0$ jeżeli łącznik wpuszczono w izolację, czyli częściowo przebija izolację (w części jej grubości);
λ_f – współczynnik przewodzenia ciepła materiału łącznika [W/(m·K)];
n_f – liczba łączników na 1 m²;
A_f – pole przekroju poprzecznego jednego łącznika [m²];
d_0 – grubość warstwy izolacji cieplnej z łącznikiem [m];
d_1 – długość łącznika przechodzącego przez izolację cieplną [m];
R_1 – opór cieplny warstwy – izolacji cieplnej przebitej przez łącznik [(m²·K)/W];
$R_{T,h}$ – opór cieplny komponentu (przegrody) z pominięciem wpływu mostków cieplnych [(m²·K)/W].

Obliczenie wartości poprawki ΔU_f

$$\Delta U = \Delta U_f$$

gdzie:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

Przyjęty łącznik mechaniczny – średnica całkowita łącznika 10 mm, średnica rdzenia ze stali ocynkowanej 8 mm, długość 200 mm, w tym 50 mm zakotwienia

Źródło [9]

Poprawka na nieszczelności ΔUg

Poziom	ΔU'' [W/m²K]	Opis nieszczelności
0	0,00	Izolacja jest tak ułożona, że nie jest możliwa cyrkulacja powietrza po cieplejszej stronie izolacji; brak nieszczelności przechodzących przez warstwę izolacji
1	0,01	Izolacja jest tak ułożona, że nie jest możliwa cyrkulacja powietrza po cieplejszej stronie izolacji; nieszczelności mogą przechodzić przez całą warstwę izolacji
2	0,04	Występuje ryzyko cyrkulacji powietrza po cieplejszej stronie izolacji; nieszczelności mogą przechodzić przez całą warstwę izolacji

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_1}{R_T}\right)^2$$

R_1 – opór cieplny warstwy zawierającej nieszczelność

R_T – całkowity opór cieplny elementu z warstwą izolacyjną zawierającą nieszczelność

Tabela 3 – Wielkości poprawek pogarszające obliczone wartości U ściany według PN-EN ISO 6946:2008			
składniki poprawek do wzoru $U \leq U_{max} - (\Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_k)$			
ΔU_g	mostki termiczne ze względu na nieszczelność	płyty w jednej warstwie na styk	0,01
		płyty w dwóch warstwach	0,00
ΔU_f	mostki termiczne ze względu na łączniki mechaniczne	stalowe 4 szt./m² ∅ 4 mm	0,016
		stalowe z wykończ. plastikowym 4 szt./m² ∅ 4 mm	< 0,01

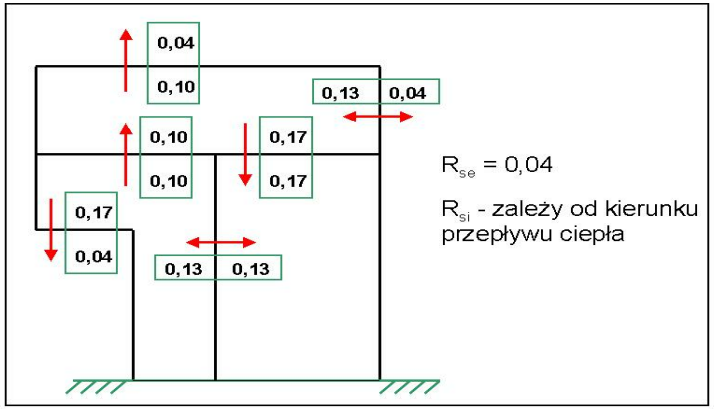
$$U_C = U + \Delta U,$$

dla ścian zewnętrznych $\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f$

Zadanie 1

Oblicz współczynnik przenikania ciepła przegrody zewnętrznej jednowarstwowej zbudowanej z cegły dziurawki grubości 12 cm, współczynnik przewodzenia **λ = 0,64 [W/mK]**

Wartości współczynników odpływu i napływu ciepła



$U = 1/\sum R$ [W/m2K]

l.p	Warstwa	d [m]	λ [W/mK]	R [m2K/W]
Opór przejmowania od strony wewnętrznej, Rsi				0,130
1	Cegła ceramiczna pełna	0,12	0,64	0,188
Opór przejmowania od strony zewnętrznej, Rse				0,040
∑R = Rsi+R+Rse				0,358

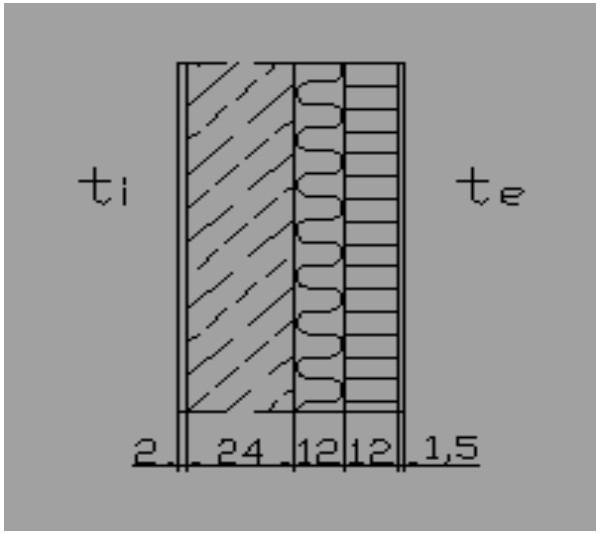
$U = 1/\sum R = 1/0{,}358 = 2{,}79$ [W/m2K]

Zadanie 2

Oblicz współczynnik przenikania ciepła przegrody zewnętrznej wielowarstwowej zbudowanej z:

- tynk cementowo wapienny gr. 2,0 cm, λ **=0,820 [W/mK]**
- pustak z gazobetonu 08. 24 cm, , λ **=0,233 [W/mK]**
- styropian gr 12 cm, λ **=0,038 [W/mK]**
- cegła ceramiczna pełna gr. 12 cm, λ **=0,077 [W/mK]**
- tynk cementowo-wapienny gr. 1,5 cm, λ **=0,82 [W/mK]**

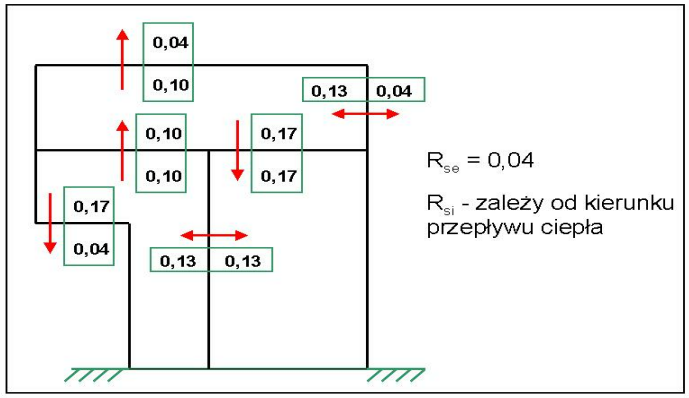
$U = 1/\sum R$ [W/m2K]



l.p	Warstwa	d [m]	λ [W/mK]	R [m2k/W]
Opór przejmowania od strony wewnętrznej Rsi				0,130
1	tynk cementowo-wapienny	0,020	0,820	0,024
2	pustak z gazobetonu	0,240	0,233	1,030
3	styropian	0,160	0,038	4,211
4	cegła ceramiczna pełna	0,120	0,770	0,156
5	tynk cementowo-wapienny	0.015	0,820	0.018
Opór przejmowania od strony zewnętrznej Rse				0,04
$\sum R = Rsi+(R_1+R_2+R_3+R_4+R_5)+Rse$				5,608

$U = 1/\sum R = 1/ 5,608 = 0, 178\ [W/m2K]$

Wartości współczynników odpływu i napływu ciepła



Zadanie 3

Na podstawie wyliczonego w zadaniu 2 współczynnika przenikania ciepła oblicz skorygowany współczynnik przenikania Ucmax z uwzględnieniem mostka ciepła na łączniki metalowe, przyjąć że izolacja cieplna układana jest metodą na zakład.

α – 0,8 (łącznik całkowicie przebija warstwę izolacji),
λ_f – 50 W/mK (dla stali),
A_f – $5{,}03 \times 10^{-5}$ m^2 (dla średnicy rdzenia łącznika ze stali ocynkowanej ϕ8mm, koszulkę z polipropylenu można pominąć),
n_f – 4 szt/m^2 (wynika z typu, materiału rdzenia i średnicy łącznika),
d_0 – 0,16 m (grubość przebijanej warstwy izolacji),
R_1 – 4,211 m^{2}K/W (opór cieplny przebijanej warstwy izolacji) ,
$R_{T,h}$ – 5 ,608 m^{2}K/W (opór cieplny całej przegrody).

$$\Delta U_f = 0{,}8 \times \frac{50 \times 5{,}03 \times 10^{-5} \times 4}{0{,}16} \times \left(\frac{4{,}211}{5\ ,608} \right)^2 = 0{,}028 \frac{W}{m^2 K}$$

Uc = U +ΔUf +Δug = 0,178+ 0,028 + 0,0 = 0,206 W/m2K

Zadanie domowe – termin do 20.10.2020

1) Oblicz U dla przegrody zewnętrznej wielowarstwowej zbudowanej z:

- tynk cementowo wapienny gr. 1,0 cm, λ **=0,82 [W/mK]**
- beton komórkowy gr. 24 cm , λ **=0,320 [W/mK]**
- styropian gr 18 cm, λ **=0,035 [W/mK]**
- tynk wapienny gr. 1,5 cm, λ **=0,700 [W/mK],**
- okładzina ceramiczna gr. 1,0 cm, , λ **= 1,300[W/mK],**

z uwzględnieniem mostka ciepła na łączniki metalowe, przyjąć że izolacja cieplna układana jest metodą na zakład.

2) Oblicz współczynnik przenikania ciepła dla stropodachu zbudowanego z :

- płyta k-g gr. 1,2 cm, λ **=0,250 [W/mK],**
- strop Akermana gr. 22 cm, λ **=1,140 [W/mK],**
- wełna mineralna gr. 25 cm, λ **=0,050 [W/mK],**
- deski - jawor wzdłuż włókien gr. 2,5 cm, λ **=0,419 [W/mK],**
- papa gr. 0,5 cm , λ **= 0,18 [W/mK].**